

**СОВМЕСТНАЯ РАБОТА УЗЛОВ
И РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ГТД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРА-ВСХ
В PDM СИСТЕМЕ SMARTTEAM**

2007



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА УЗЛОВ И РАСЧЕТ
ХАРАКТЕРИСТИК ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АСТРА-ВСХ В PDM СИСТЕМЕ SMARTTEAM

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

УДК 621.431.75

ББК 39.55



Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"

Составители: *В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич, А.Ю. Ткаченко*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. кафедры КиПДЛИА СГАУ М. Е. П р о д а н о в

Совместная работа узлов и расчет характеристик ГТД с использованием АСТРА-ВСХ в PDM системе SmarTeam: метод. указания / сост. В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич [и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 40 с.: ил.

Изложена методика выполнения курсовой работы «Совместная работа узлов и расчет характеристик ГТД с использованием АСТРА-ВСХ» в PDM системе SmarTeam.

PDM модель разработана на кафедре теории двигателей летательных аппаратов СГАУ и предназначена прежде всего для студентов специальности 160301, выполняющих курсовое и дипломное проектирование авиационных ГТД.

УДК 621.431.75

ББК 39.55

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2007

Содержание

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	4
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
ОПИСАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ В СРЕДЕ SMARTTEAM.....	7
ПОДГОТОВКА СИСТЕМЫ К РАБОТЕ.....	10
ФОРМИРОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	15
Введение.....	15
1. Выбор закона и программы управления	20
2. Особенности совместной работы узлов ГТД заданного типа и схемы	21
3. Расчет характеристик двигателя	23
Заключение	25
ФОРМИРОВАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	26
УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ АСТРА-ВСХ.....	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	38

Список сокращений

PDM	– Product Data Management (система управления проектными данными)
ST	– PDM-система SmarTeam
ГТД	– газотурбинный двигатель
ЖЦ	– жизненный цикл (документа)
КР	– курсовая работа
ЛКМ	– левая клавиша мыши
м/м	– математическая модель
ПКМ	– правая клавиша мыши
САУ	– стандартные атмосферные условия
СККП	– сквозное курсовое компьютерное проектирование
ТВ(В)Д	– турбовинтовой (турбовинтовентиляторный) двигатель
ТВад	– турбовальный двигатель
ТГДР	– термогазодинамический расчет
ТРД	– турбореактивный двигатель
ТРД(Д)Ф	– двухконтурный турбореактивный двигатель с форсажом
ТРДД	– двухконтурный турбореактивный двигатель

Общие сведения

Курсовая работа является продолжением работы «Формирование математической модели двигателя-прототипа и проектный расчет ГТД с использованием автоматизированной системы термодинамического расчета и анализа (АСТРА-ПР)», результаты которой вместе с результатами расчетов выполненных по курсу лопаточных машин, являются исходными данными.

В курсовой работе согласно заданию студент рассчитывает характеристики заданного двигателя: дроссельные, климатические, высотные или скоростные. Работа может быть успешно выполнена только после обстоятельного изучения трех основных глав четвертой части курса (10, 11 и 12), посвященных двигателю с одним управляющим фактором. Если рассчитываемый двигатель имеет несколько основных управляющих факторов, то для выполнения этой работы необходимо также знание материала гл. 13 и 14 [1]

Курсовая работа состоит из введения, трех разделов, заключения и приложения.

В среде SmarTeam студенту предлагается готовая структура, состоящая из документов, сгруппированных в те же три раздела, введение, заключение и приложение.

Процесс выполнения курсовой работы полностью аналогичен процессу ее выполнения в бумажном виде. Отличие заключается в том, что система SmarTeam позволяет документировать получаемые результаты в электронном виде, обеспечивая автоматическое

формирование структуры курсовой работы и хранение информации, а также организуя доступ к курсовой работе студенту и преподавателю.

В процессе работы в базе данных ТДЛА пользователь выполняет одну из трех ролей:

- **администратора** (обеспечивает обслуживание процедур, запуск, выдачу заданий);
- **преподавателя** (выполняет контроль понимания студентом предметной области, а также качество выполнения курсовой работы);
- **студента** (выполняет курсовую работу).

В данном руководстве описана последовательность действий, которую необходимо проделать студенту, чтобы приступить к работе, выполнить ее, отправить на проверку преподавателю, внести необходимые исправления по замечаниям преподавателя и успешно защитить курсовую работу.

Описание выполнения курсовой работы в среде SmarTeam

На рисунке 1 представлено сформированное дерево проектов, из которого можно видеть, что структура курсовой работы в среде SmarTeam полностью соответствует структуре, принятой в приложении 6 [1].

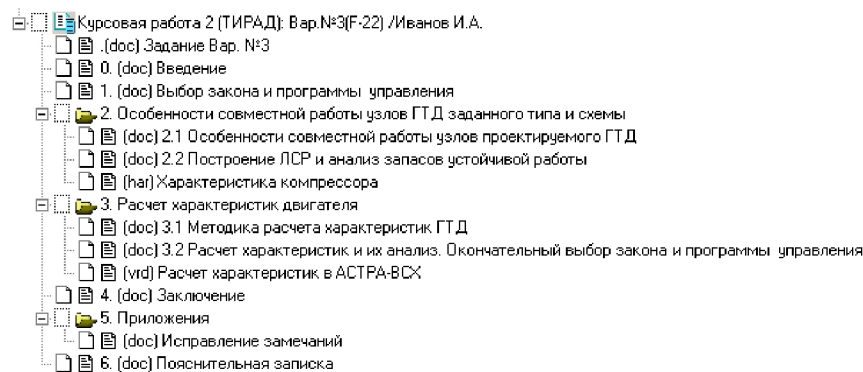


Рис. 1 – Структура курсовой работы, реализованная в среде SmarTeam.

Данные, полученные при выполнении курсовой работы, содержатся в среде SmarTeam в объектах, называемых «документ». Все документы относятся к одному из трех типов и обозначаются в дереве проектов соответствующим идентификатором перед наименованием документа:

7

[doc] – документ MS Word;

[har] – документ подсистемы АСТРА-ХАР;

[vrd] – математическая модель в подсистеме АСТРА-ВСХ.

Каждый раз, когда пользователь в процессе работы вносит в документ изменения, создается новая версия документа в дополнение к старым.

Для удобства документы группируются в разделы, для нашего случая группирующие разделы и их наименования соответствуют разделам курсовой работы, как они представлены в приложении 6 [1].

Документы, входящие в группирующие разделы и сами разделы, образуют структуру курсовой работы.

Каждый документ в системе SmarTeam может находиться в одном из трех состояний:

- в процессе разработки;
- в архиве;
- на проверке.

В процессе разработки документ располагается в рабочей папке студента, которая задается ему администратором вместе с именем пользователя и паролем для входа в систему SmarTeam. Когда студент принимает решение о том, что работа над очередным документом завершена, он отправляет его в архив, откуда документ может быть взят преподавателем на проверку. После отправки документа в архив, студент может вносить в него изменения, только создавая новые версии.

Таким образом, в процессе выполнения курсовой работы:

- **администратор** создает курсовую работу как объект, задает пользователю имя пользователя, пароль и рабочую папку;
- **студент**, работая над курсовой, заполняет полученными данными соответствующие документы курсовой работы; каждый заполненный документ отправляет в архив; после проверки преподавателем забирает документ из архива и вносит в него исправления, создавая новую версию;

8

- преподаватель вызывает из архива готовые документы студента и осуществляет их проверку, создавая новые версии документов, включающие замечания.

Кроме того, студенту будет необходимо пройти защиту. Защита проводится при личной встрече, назначаемой преподавателем, согласно учебному плану.

Рассмотрим действия, которые необходимо выполнить студенту в процессе выполнения курсовой работы, на примере.

Подготовка системы к работе

1. Вход в систему SmarTeam.

Для запуска системы ST выполните: Меню Пуск → Все программы → SmarTeam → SmarTeam (рис. 2).

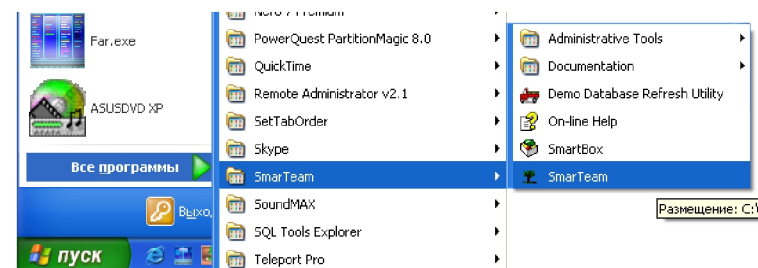


Рис. 2 – Запуск системы SmarTeam

После запуска системы необходимо ввести имя пользователя и пароль, заданные администратором (рис. 3).

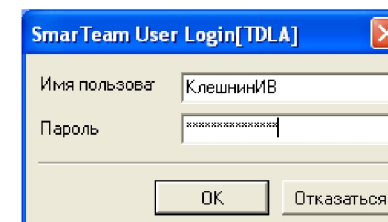


Рис. 3 –Авторизация в SmarTeam

2. Описание системы SmarTeam.

Работа с системой начинается с основного экрана системы.

Основной экран системы включает в себя (рис. 4):

- 1 – дерево существующих в системе проектов (объектов), в котором отображаются все объекты, доступные для просмотра текущему пользователю;
- 2 – главное меню программы;
- 3 – панель инструментов, на которой расположены кнопки, вызывающие наиболее часто требующиеся функции системы;
- 4 – панель информации выбранного объекта, на которой отображаются стандартные для данного типа объектов закладки;
- 5 – форма выбранного объекта, где представлены все атрибуты, присущие выбранному объекту;
- 6 – вспомогательное меню выбранного объекта. Здесь расположены закладки, объединяющие атрибуты объекта по группам;
- 7 – поле, отображающее имя текущего пользователя;
- 8 – статусная строка с подсказками по текущим действиям.

3. Создание объектов курсовой работы.

Перед началом работы необходимо создать все документы, которые требуется заполнить в ходе выполнения курсовой работы. Эта процедура выполняется только один раз, при первом запуске системы пользователем; система не позволит создать структуру объектов второй раз.

Для этого в дереве проектов (рис. 1) выберите объект «КР2 Вар.№XX(YYY)/Ваша фамилия» одним щелчком мыши.

На форме объекта нажмите кнопку «Создать структуру курсовой работы» и дождитесь «отчет системы» о том что структура успешно создана (рис. 5). При возникновении ошибок на этом этапе обратитесь к администратору системы.

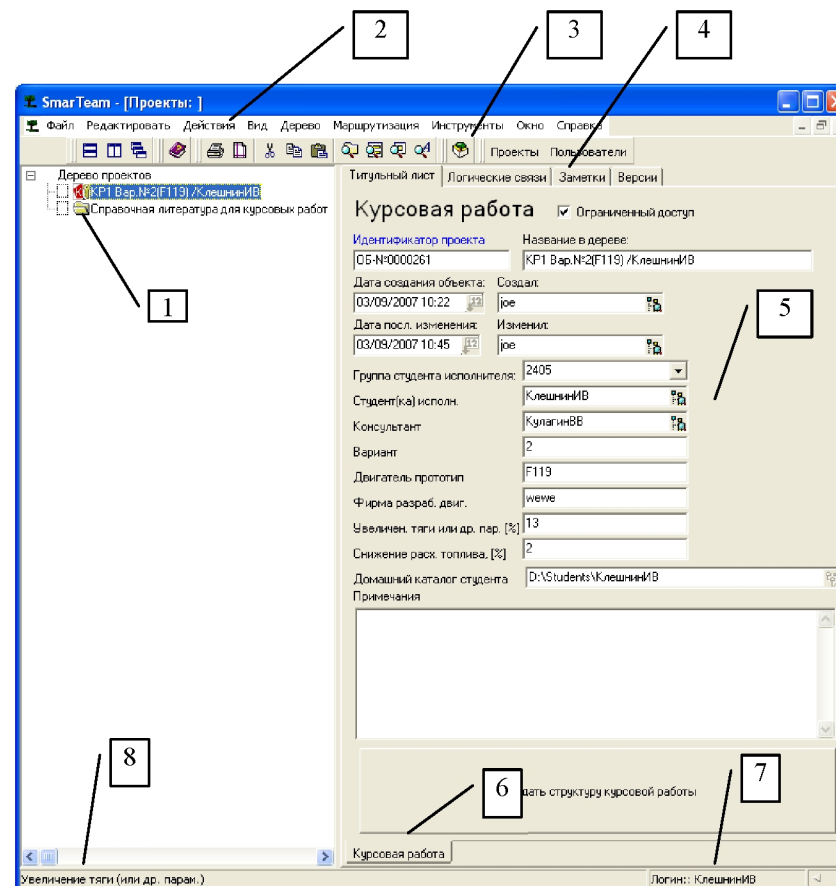


Рис. 4 – Главное окно системы SmarTeam

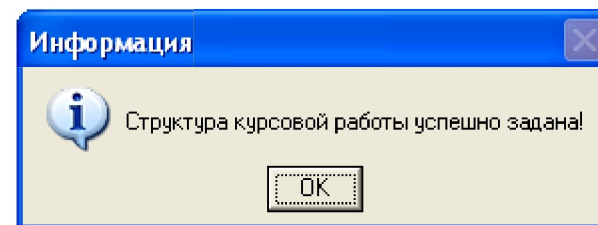


Рис. 5 – Отчет о создании структуры курсовой работы

После того, как структура курсовой работы создана, необходимо изменить режим отображения дерева проектов, чтобы документы и разделы курсовой работы стали отображаться в дереве в правильном порядке.

4. Переключение режима отображения дерева проектов к требуемому виду.

При первом запуске системы требуется настроить вывод дерева проектов удобным для пользователя образом, поскольку по умолчанию дерево выводится в неупорядоченном виде. Эта процедура также выполняется только один раз.

Для того чтобы произвести сортировку объектов в дереве, необходимо сделать следующее:

1. В главном меню выберите пункт «Дерево» → «Свойства дерева» (рис. 6).

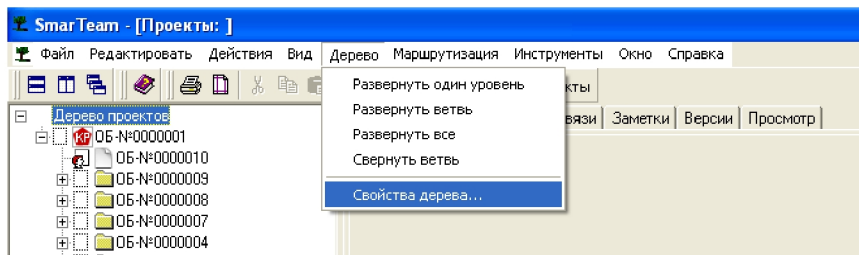


Рис. 6– Исправление вида дерева

2. На закладке «Сортировка» в поле «Сортировать» установите «По классам, обозначению», а в поле «Направлению» выберите «По возрастанию» (рис. 7).

Если после этого в дереве проектов не появятся разделы и документы, составляющие структуру курсовой работы, выйдите из системы, и выполните повторный вход в систему, для того чтобы изменения вступили в силу.

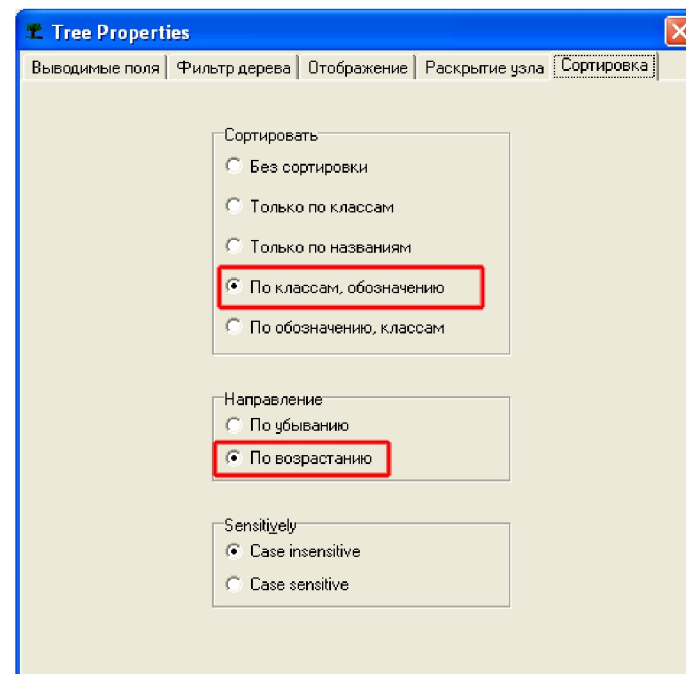


Рис. 7– Исправление вида дерева

Формирование разделов курсовой работы

ВВЕДЕНИЕ

1. Выбор объекта

В открывшемся дереве проектов необходимо двойным щелчком мыши открыть раздел «0. Введение» и выбрать входящий в его состав объект «(doc) Введение» (рис. 8). При этом в правой части экрана отобразится карточка объекта. На карточке представлены основные атрибуты документа и расположение привязанного файла MS Word. Каталог, в котором располагаются все рабочие файлы студента, задается администратором системы.

2. Открытие файла, привязанного к объекту

Дважды щелкнув ЛКМ по объекту, мы откроем файл, привязанный к объекту в программе-обработчике (в данном случае, MS Word) для заполнения его данными (предварительно в начале работы файл будет создан, после подтверждения этой операции – см. рис. 9). В дальнейшем, двойной щелчок ЛКМ по объекту будет вызывать этот созданный файл для редактирования.

3. Формирование документа «Введение»

Далее следует заполнить пустой документ данными (рис. 10). Во введении целесообразно изобразить схему двигателя, привести его основные данные, указать прототип и отличия от него, а также тип летательного аппарата (диапазон летных условий).

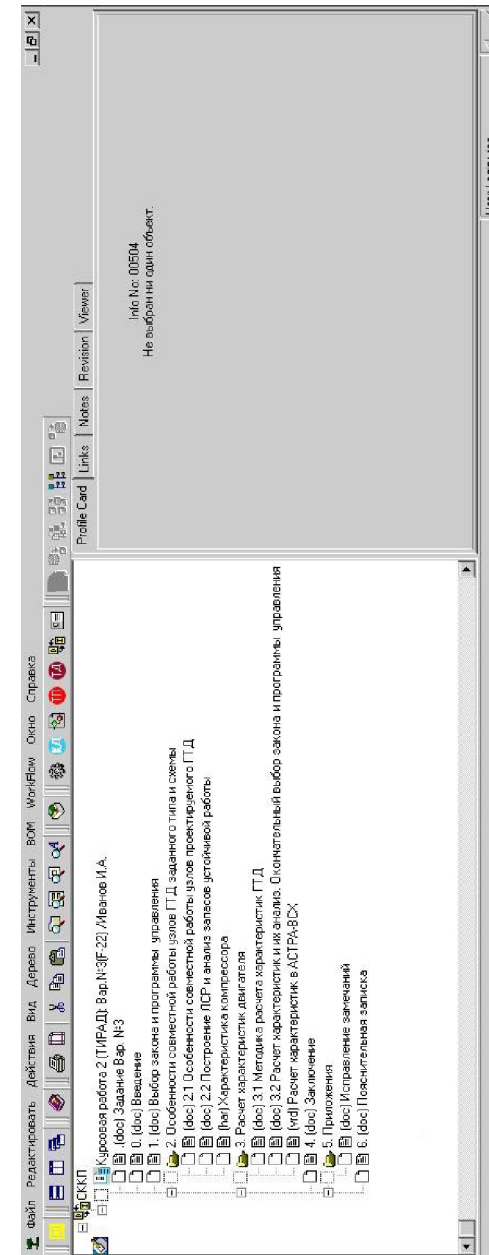


Рис. 8 – Выбор объекта

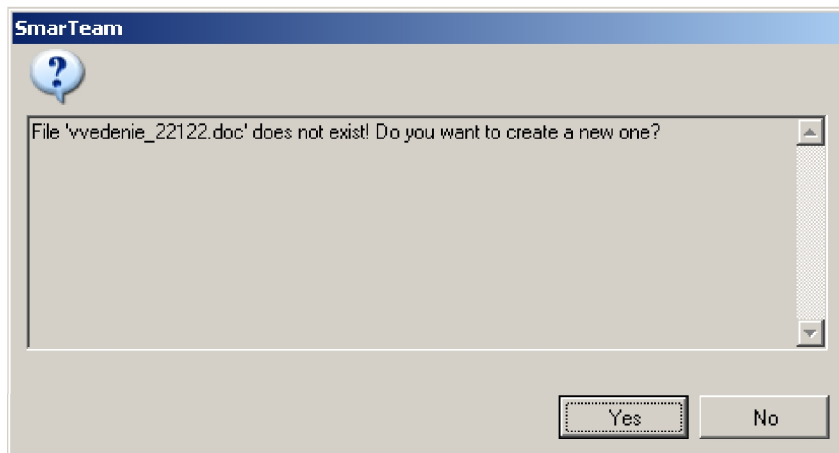


Рис. 9 – Подтверждение создания объекта

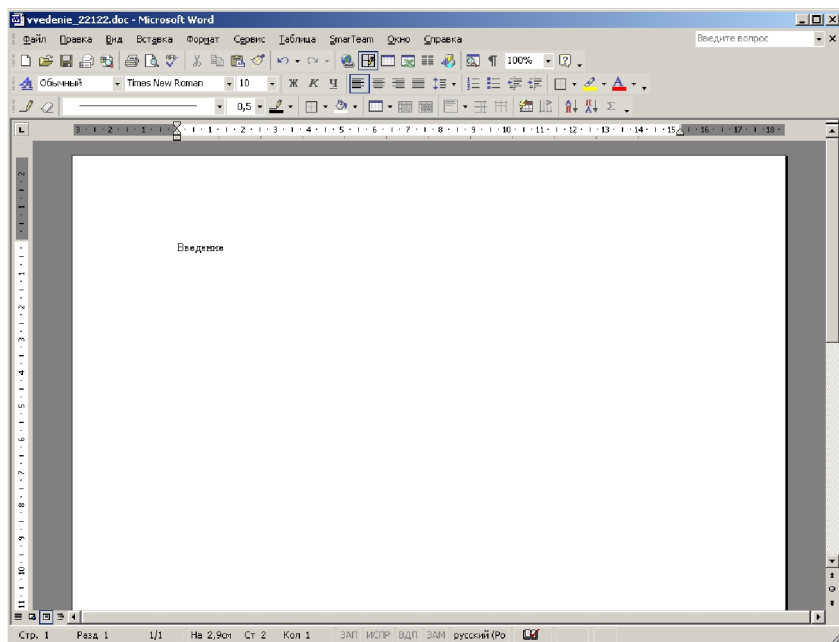


Рис. 10 – Открытый в программе MS Word шаблон документа

4. Сохранение документа.

После внесения необходимой информации (или изменений) необходимо сохранить изменения, нажав «сохранить» в программе, с которой вы работаете. Документ автоматически сохраняется в вашу рабочую папку в системе SmarTeam.

5. Отправка документа в архив.

После того как вы внесли всю информацию, и хотите отдать документ на проверку преподавателю, необходимо отправить его в электронный архив. После отправления документа в архив вы больше не можете вносить в него изменения.

Для того чтобы отправить документ в архив, нужно:

- выбрать объект, работа над которым окончена, в дереве проектов;
- щелкнуть ПКМ по объекту;
- в выпадающем меню выбрать пункт «Жизненный цикл» (рис. 11);
- в выпадающем меню выбрать «Утвердить (сдать в архив)»;
- в открывшемся окне (рис. 12) нажать «ОК».

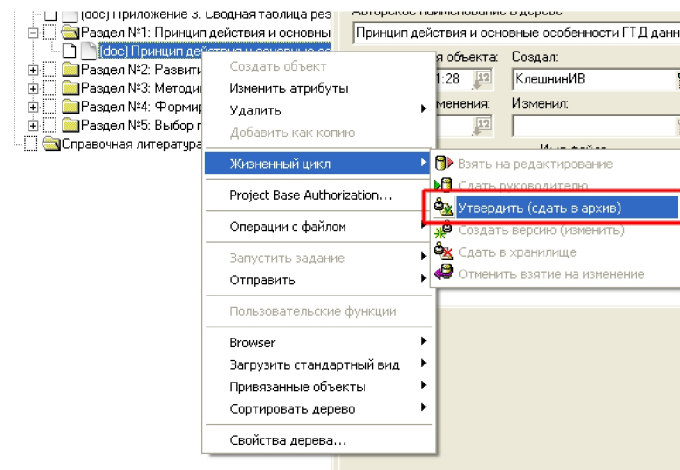


Рис. 11 – Отправка документа в архив

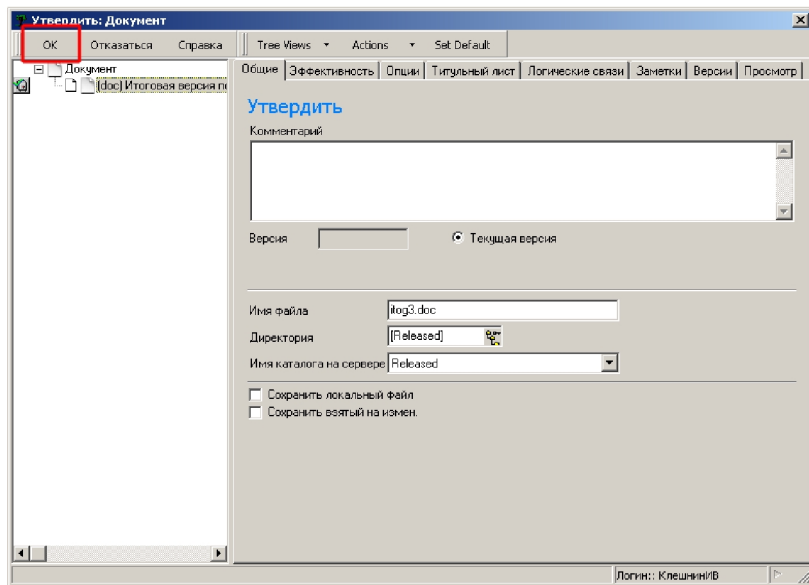


Рис. 12 – Подтверждение отправки документа в архив

6. Исправление замечаний в документе.

Для того чтобы исправить замечания, сделанные вам преподавателем, требуется забрать документ электронного архива в вашу рабочую папку.

Для того чтобы это сделать, необходимо следующее:

- выбрать объект в дереве проектов;
- щелкнуть ПКМ по объекту;
- в выпадающем меню выбрать «Жизненный цикл»;
- в выпадающем меню выбрать «Создать версию (изменить)»;
- в открывшемся окне нажать «ОК».

В результате этого документ попадет в вашу рабочую папку и станет доступным для редактирования (рис.13). Далее, необходимо исправить замечания, перечислить их в документе «Исправление замечаний» (который располагается в разделе 5 дерева проектов) и отправить исправленный документ в электронный архив.

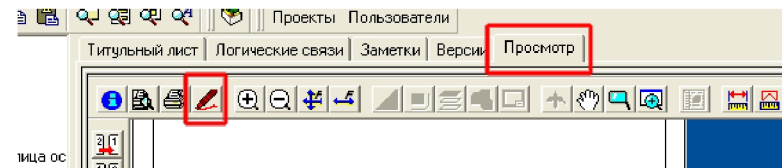


Рис. 13 – Включение режима просмотра замечаний

1. ВЫБОР ЗАКОНА И ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ

Данный раздел курсовой работы включает в себя один документ MS Word: «Выбор закона и программы управления».

В этом разделе назначаются несколько законов управления или несколько вариантов одного закона управления, что позволит далее рассчитать и исследовать соответственно несколько вариантов характеристик двигателя и сделать окончательный выбор закона управления. Аналогичный подход должен быть и к предварительному выбору программы управления (если двигатель имеет несколько управляющих факторов).

Выбор закона и программы управления двигателя основывается на материале разд. 12.1 [1] "Термодинамические основы управления ГТД". Если предполагается рассчитать характеристики современного турбореактивного двигателя с регулируемыми сечениями, то при выборе закона и программы управления необходимо руководствоваться соображениями, изложенными в разд. 13.1 "Одновальный ТРД (газогенератор) с регулируемой площадью сопла" и в разд. 13.2.2 "Регулирование турбины и сопла". Особенности управления турбовинтовых (турбовальных) двигателей и турбореактивных двигателей с форсажными камерами изложены соответственно в разд. 14.2.1 и 14.4.2 [1].

Выбранный закон управления изображается в виде графика (см., например, рис. 14.25 для ТРДДФ), численные значения которого в общем случае получаются по результатам расчета (разд. 3) характеристик двигателя (в простейшем случае численные значения

параметров режима являются исходными для расчета характеристик). Необходимо также привести и обосновать структурную схему управления двигателем.

После завершения формирования документа, его необходимо отправить в архив (ЖЦ → «Утвердить»). Редактирование документов осуществляется путем вызова их из архива и создания новых версий (ЖЦ → «Создать версию»).

2. ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ УЗЛОВ ГТД ЗАДАННОГО ТИПА И СХЕМЫ

Данный раздел курсовой работы в системе SmartTeam включает в себя три документа:

- «Особенности совместной работы узлов проектируемого ГТД» (MS Word);
- «Характеристика компрессора» (объект программы АСТРА-хар);
- «Построение и анализ ЛСР» (MS Word).

В первом документе на основе главы 10 [1] делается, прежде всего, краткий общий анализ совместной работы узлов рассчитываемого двигателя.

Далее следует подчеркнуть особенности совместной работы узлов проектируемого ГТД, используя при необходимости материалы, изложенные в разделе 11.1 (многовальная турбокомпрессор), 11.5 (ТРДД со смещением потоков), 13.1.1 (ТРД (газогенератор) с регулируемой площадью минимального сечения сопла), 13.2 (газогенератор с регулируемой турбиной, соплом и компрессором), 13.3 (двухвальная и трехвальная ТРДД с регулируемым сечением), 14.1 (ТВД и ТВВД), 14.3 (ТРД(Д)Ф).

Второй документ. Рассчитывается линия совместной работы на характеристике компрессора. (Если двигатель многовальная, то рекомендуется для простоты наносить такую линию только на

характеристику КВД). С этой целью предварительно строится характеристика компрессора в общепринятом виде:

$$\pi_k^* = f[\bar{n}_{пр}, q(\lambda_b)]; \eta_k^* = f[\bar{n}_{пр}, q(\lambda_b)].$$

Характеристика может быть построена путем пересчета на основании рекомендованных типовых характеристик (заданных в относительном виде) и известных значений π_{k0}^* и $q(\lambda_b)_0$ в исходной расчетной точке (по результатам проектного расчета на взлетном режиме). Такой пересчет и построение характеристик компрессора целесообразно выполнить с помощью специальной подпрограммы – «АСТРА-хар».

Для этого нужно дважды щелкнуть по объекту «Характеристика компрессора».

В третьем документе строится и анализируется линия совместной работы узлов. Линия совместной работы рассчитывается без использования ЭВМ (вручную). При выполнении этих расчетов целесообразно задаться величинами $q(\lambda_b)$, по уравнению (10.7а) вычислить соответствующие значения π_k^*/l_k , по которым с помощью номограммы (приложение 9) легко подбираются величины π_k^* и η_k^* на характеристике компрессора.

По результатам расчета линии совместной работы определяются и анализируются запасы устойчивой работы компрессора. При необходимости даются предложения по увеличению запасов устойчивости. Эти предложения целесообразно реализовать, введя соответствующие изменения в конструкцию двигателей.

Следует помнить, что для двигателя с несколькими управляющими факторами положение линии совместной работы зависит в общем случае от закона управления.

Для одновальных двигателей с двумя или тремя управляющими факторами целесообразно на характеристику компрессора нанести сетку линий $T_r^*/T_H^* = idem$. Для одновального ТВД на характеристику

компрессора наносятся линии совместной работы или точки совместной работы, соответствующие различным полетным и погодным условиям (различным T_n^*) и принятому закону регулирования температуры газа перед турбиной и частоты вращения ротора.

Анализ совместной работы узлов позволяет не допустить ошибок при выборе параметров регулирования (или параметров режима) двухвальных и трехвальных двигателей с несколькими управляющими факторами. Например, анализ совместной работы узлов двухвального ТРДД показывает, что изменение площади сопла практически не оказывает влияния на температуру газа перед турбиной (см. разд. 13.3.1). Следовательно, эта температура не может регулироваться за счет изменения указанной площади. Поэтому выводы разд. 1, касающиеся выбора параметров регулирования (режима), должны быть согласованы с результатами проведенного в разд. 2 анализа.

После завершения формирования всех трех документов, необходимо отправить их в архив (ЖЦ → «Утвердить»). Редактирование документов осуществляется путем вызова их из архива и создания новых версий (ЖЦ → «Создать версию»).

3. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ

На этом этапе работы необходимо, прежде всего, заполнить данными три документа:

- документ MS Word «Методика расчета характеристик ГТД»;
- документ MS Word «Анализ характеристик и окончательный выбор закона (программы) управления»;
- математическую модель в подсистеме АСТРА-ВСХ «Расчет характеристик в АСТРА-ВСХ».

Работу над разделом 3 курсовой работы необходимо вести следующим образом.

Вначале составляется методика расчета характеристик двигателя заданного типа и схемы. За основу принимается метод расчета

характеристик простейшего ТРД, описанный в разд. 12.2.2, а также изложенные в разд. 12.2.3 соображения, касающиеся особенностей расчета многовальных ТРД(Д). Некоторые особенности расчета характеристик ТРД(Д) с регулируемыми площадями характерных сечений описаны в разд. 13.4, а ТВД (ТВаД) и ТРД(Д)Ф – в разд. 14.5.

Далее с помощью программы АСТРА-ВСХ рекомендуется рассчитать три типа характеристик двигателя: 1) дроссельные, 2) климатические, 3) высотные или скоростные (для ТРД(Д)Ф рекомендуется рассчитать скоростную характеристику). Расчет характеристик выполняется для различных законов и программ управления, предварительно выбранных выше, в диапазоне летных условий, характерных для летательных аппаратов, на которых эксплуатируется двигатель-прототип.

Результаты расчета (основные данные и удельные параметры двигателя, параметры рабочего процесса, а также частоты вращения роторов и параметры рабочего тела в проточной части) изображаются на графиках и подробно анализируются: объясняется полученный характер изменения параметров в зависимости от внешних условий или от режима, исследуется влияние закона (программы) управления.

Рассчитываются также и распечатываются линии совместной работы на характеристиках компрессоров ВД и НД. Анализируются и объясняются различия в их протекании. Сравниваются линии, полученные в результате "ручного" и компьютерного расчетов.

По результатам расчета и анализа параметров окончательно выбирается закон (программа) управления двигателя. В общем случае закон управления, как известно (см. разд. 13.1.2), выбирается из условия обеспечения тактико-технических требований, предъявляемых к летательному аппарату.

Программа управления двигателя с несколькими управляющими факторами выбирается из условия обеспечения минимального удельного расхода топлива в крейсерских условиях длительной работы (см. разд. 13.1.3 и 13.3). На двигателе с одним управляющим фактором целесообразно проанализировать (рассчитать), какое снижение

удельного расхода топлива даст дополнительное регулирование одного (двух) характерных сечений ($F_{с.кр}$, $F_{с.а}$) в этих условиях работы, т.е. оценить в первом приближении целесообразность перехода к двигателю с двумя (тремя) управляющими факторами.

После окончательного выбора закона (программы) управления следует вернуться к разд. 1 и уточнить его.

Подчеркнем, что обоснование принятого закона (программы) управления, анализ совместной работы узлов и полученных результатов расчета характеристик, а также составление методики расчета характеристик двигателя являются главным содержанием курсовой работы и должны быть изложены подробно.

После завершения работы над данным этапом курсовой работы отправьте все созданные документы в архив (ЖЦ → «Утвердить»), а новые варианты документов создавайте путем создания новых версий (ЖЦ → «Создать версию»), сохраняя историю изменения и наполнения документа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении необходимо кратко описать проделанную работу и отметить основные результаты, полученные в разделах 1, 2 и 3, в том числе:

- из какого условия выбраны закон и программа управления;
- выбранные законы и программы управления;
- особенности совместной работы узлов заданного типа ГТД;
- выводы по результату построения линии совместной работы;
- особенности метода расчета характеристик.

Формирование пояснительной записки

На этом этапе необходимо сформировать документ MS Word «Пояснительная записка», используя полученные ранее документы. После завершения работы над пояснительной запиской, её необходимо отправить в архив (ЖЦ → «Утвердить»).

В случае если после завершения проверки пояснительной записки преподавателем были сделаны замечания, их необходимо исправить, описав все исправления в документе «Исправление замечаний», а документ снова отправить на проверку.

Указания по работе с программой АСТРА-ВСХ

Подсистема расчета характеристик АСТРА-ВСХ предназначена для анализа работы ГТД в широком диапазоне режимов и внешних условий путем расчета его дроссельных, высотных, скоростных и климатических характеристик.

Работа в программе начинается с исходной страницы главного окна. Страница имеет три кнопки на управляющей панели. Управляющая панель – это поле в правой части окна, на которой расположены кнопки (рис. 14).

Кнопки исходной страницы:

- «Новый расчет» - начало расчета «с нуля» и переход к выбору схемы ГТД;
- «Загрузить данные» - чтение исходных данных проектного расчета ГТД конкретной схемы из файла;
- «Выход» - закрытие окна и выход из программы.

Нажатием кнопки «Новый расчет» осуществляется переход к странице выбора схемы ГТД (рис. 15). При выборе названия модели двигателя загружается соответствующая математическая модель, само название выделяется светлым фоном и в левом верхнем углу отображается схематическое изображение двигателя (рис. 15).



Рис. 14 – Внешний вид исходной страница главного окна программы

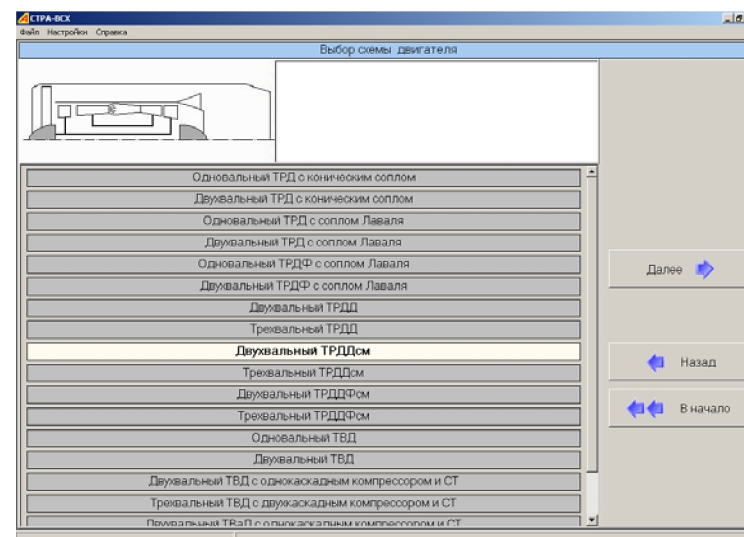


Рис. 15 –Страница выбора схемы ГТД

Кнопки страницы выбора схемы ГТД:

- «Далее» - переход к странице параметров узлов ГТД;
- «Назад» - возврат к исходной странице;
- «В начало» - возврат к исходной странице.

После выбора интересующей схемы нажатием кнопки «Далее» открывается страница узлов ГТД, на которой перечислены названия узлов рассчитываемого двигателя (рис. 16). Каждое название соответствует модулю, описывающему математическую модель расчета этого узла.

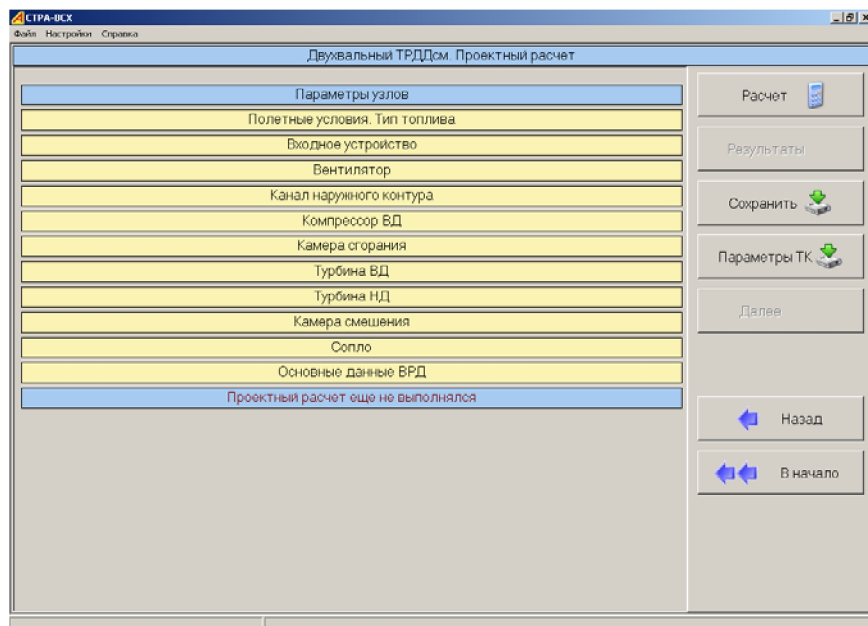


Рис. 16 – Страница узлов ГТД

При нажатии на название узла, открывается окно, в котором редактируются исходные данные для проектного расчета двигателя с учетом характеристик его узлов. Например, на рис. 17 изображено окно исходных данных компрессора высокого давления.

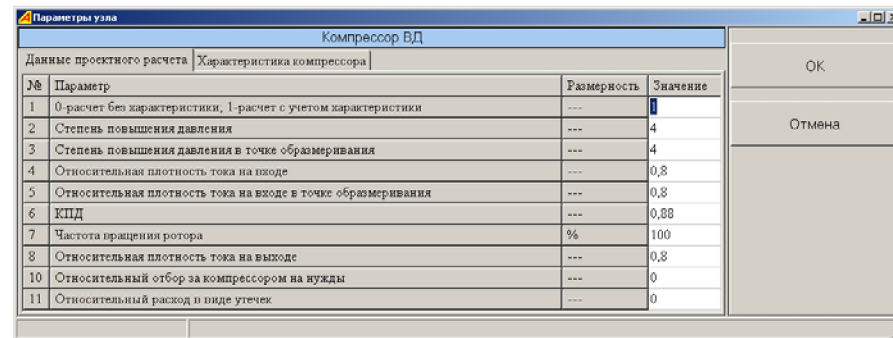


Рис. 17 – Окно параметров узла «Компрессор ВД»

В окнах параметров вентилятора и компрессоров на вкладке «Характеристика» с помощью кнопки «Загрузить» из файла загружаются данные характеристики (рис. 18).

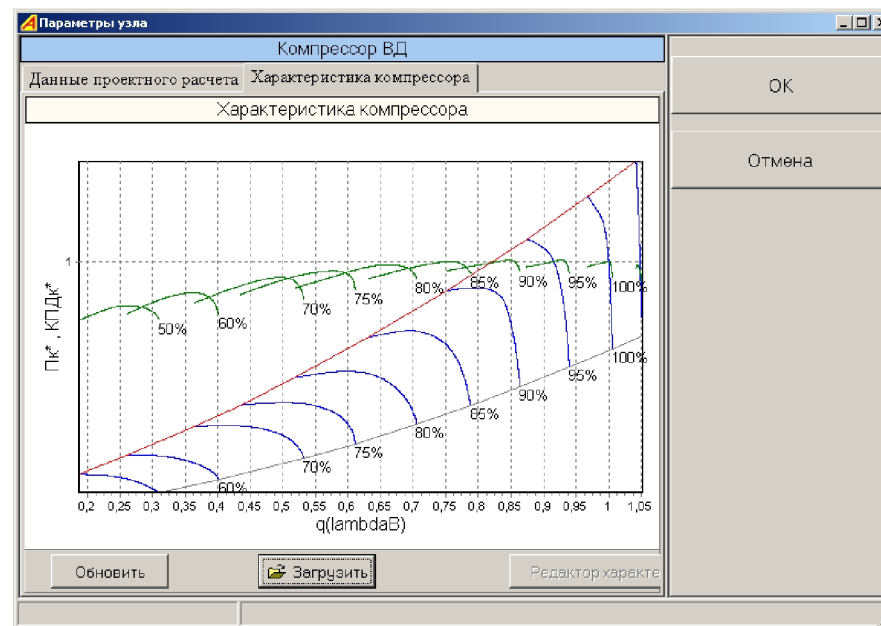


Рис. 18 – Изображение характеристики компрессора

В окнах параметров входного устройства, турбин и сопел на вкладке «Характеристика» задаются характеристики в виде табличной зависимости вручную или из файла (рис. 19). Введенную характеристику можно сохранить для дальнейшего использования в файл с помощью кнопки «Сохранить». Для отображения численных значений в виде графика предназначена кнопка «Обновить».

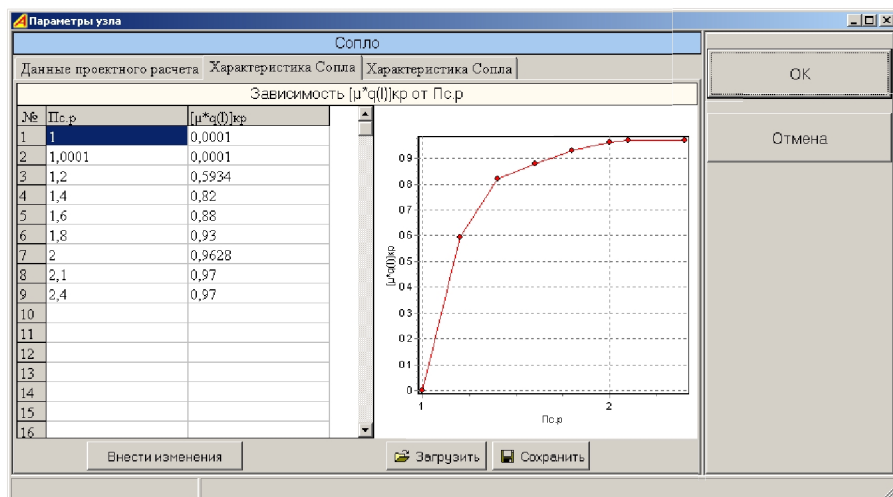


Рис. 19 – Изображение характеристики входного устройства

Кнопки страницы узлов ГТД:

- «Сохранить» - сохранение введенных исходных данных проектного расчета и характеристик узлов в файл;
- «Расчет» - проведение проектного расчета;
- «Результаты» - вывод таблицы рассчитанных параметров в Excel;
- «Далее» - переход к странице параметров расчета характеристики;
- «Назад» - возврат к странице выбора схемы ГТД;
- «В начало» - возврат к исходной странице.

Для проведения проектного расчета двигателя с учетом характеристик его узлов следует нажать кнопку «Расчет». После

успешного расчета в окнах параметров узлов становится доступной вкладка с результатами расчета (рис. 20).

№	Параметр	Размерность	Значение
1	Степень повышения давления	---	4
3	КПД	---	0,88
5	Относ. плотность тока на входе	---	0,8
7	Относ. приведен. частота вращения ротора	%	100
8	Частота вращения ротора	%	100
10	Кэфф. запаса устойчивости	%	30,798
11	Удельная работа	Дж/кг	200050
13	Мощность	Вт	3334200
18	Площадь канала на входе	м²	0,049886
57	Расход воздуха на выходе	кг/с	16,667
58	Кэфф. изменения массы воздуха на выходе	---	1
66	Полная температура на выходе	К	556,88
68	Полное давление на выходе	Па	786280

Рис.20 – Результаты расчета узла «Компрессор»

Если все узлы рассчитаны успешно, то становятся доступны кнопки «Результаты» и «Далее». Нажатием кнопки «Далее» осуществляется переход к следующему этапу – расчету эксплуатационных характеристик двигателя.

Все данные для расчета характеристики задаются с помощью страницы параметров расчета характеристики (рис. 21). В верхней части страницы представлен список возможных характеристик. Поля «Мах полета», «Высота полета», «Отклонение давления от САУ» и «Отклонение температуры от САУ», в зависимости от выбранной характеристики, служат для задания численного значения или диапазона изменения внешних и полетных условий (рис. 22).

В разделе «Закон регулирования» перечислены управляющие факторы (УФ) и соответствующие им параметры регулирования (ПР). При нажатии на поле с названием управляющего фактора появляется окно выбора параметра регулирования и задания свойств варьируемого параметра (рис. 23).

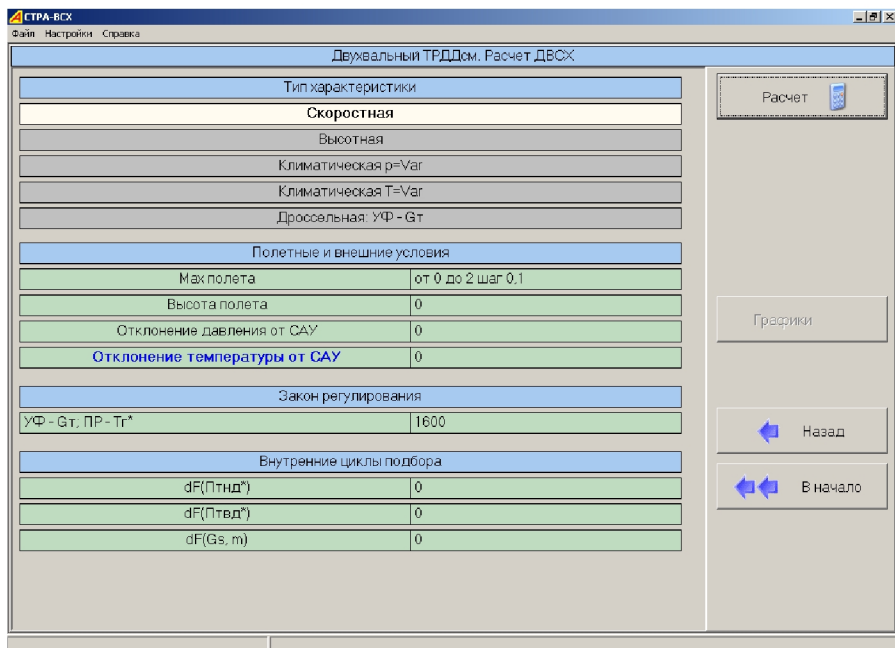


Рис. 21 - Страница параметров расчета характеристики

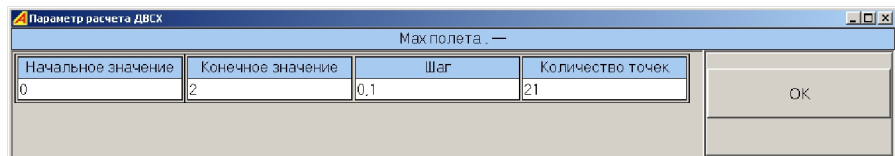


Рис. 22 – Задание диапазона изменения Маха полета

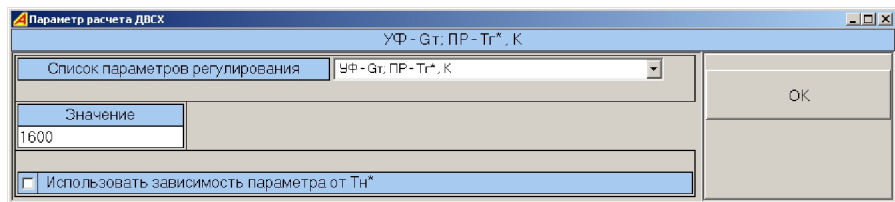


Рис. 23 – Окно выбора параметра регулирования

В верхнем списке перечислены возможные параметры регулирования. Существуют два способа задания значения параметра регулирования: постоянным значением в поле «Значение»; либо, отметив галочкой в пункте «Использовать зависимость от $T_{г^*}$ », в виде табличной зависимости от полной температуры на входе в двигатель (рис. 24).

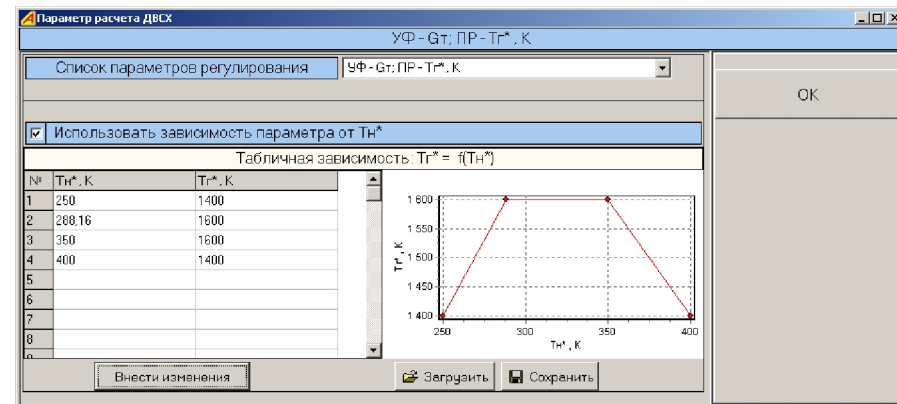


Рис. 24 – Задание значений параметра регулирования в виде табличной зависимости

Заданное значение параметра регулирования при расчете обеспечивается подбором варьируемого параметра. Лучшей сходимости расчета можно добиться путем корректировки значений параметров в нижней части окна.

Выбор параметра регулирования подтверждается кнопкой «ОК».

В разделе «Внутренние циклы подбора» (рис. 22) задаются параметры, влияющие на процесс подбора параметров рабочего процесса из условия совместной работы узлов ГТД.

Кнопки страницы параметров расчета характеристики:

- «Расчет» - проведение расчета характеристики;
- «Графики» - переход к странице результатов расчета характеристики;
- «Назад» - возврат к странице узлов ГТД;

- «В начало» - возврат к исходной странице.

После ввода всех параметров расчета характеристики нажимаем кнопку «Расчет».

Ход вычислений отображается в окне процесса расчета (рис. 25).

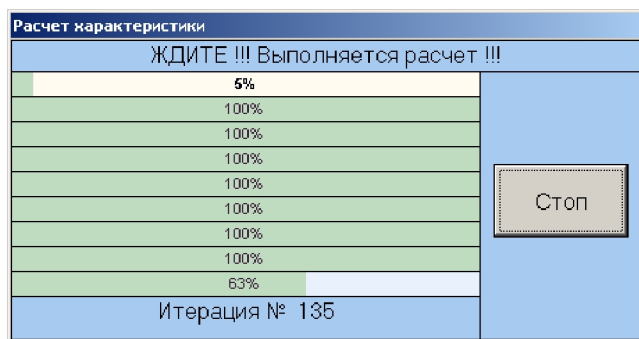


Рис. 25 – Окно процесса расчета характеристики

Расчет завершается при достижении значения верхнего индикатора процесса 100% (рис. 26).

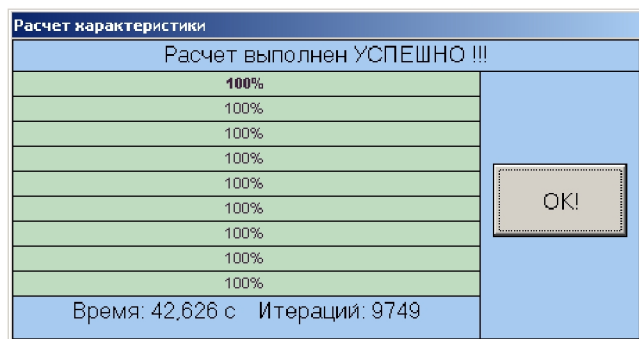


Рис. 26 – Успешное завершение расчета характеристики

При нажатии кнопки «ОК» открывается страница результатов расчета характеристики. На вкладке «Графики» (рис. 27.) в левой части

окна перечислены все узлы двигателя и их параметры, а в правой - выводится график изменения выбранного параметра по заданной характеристике.

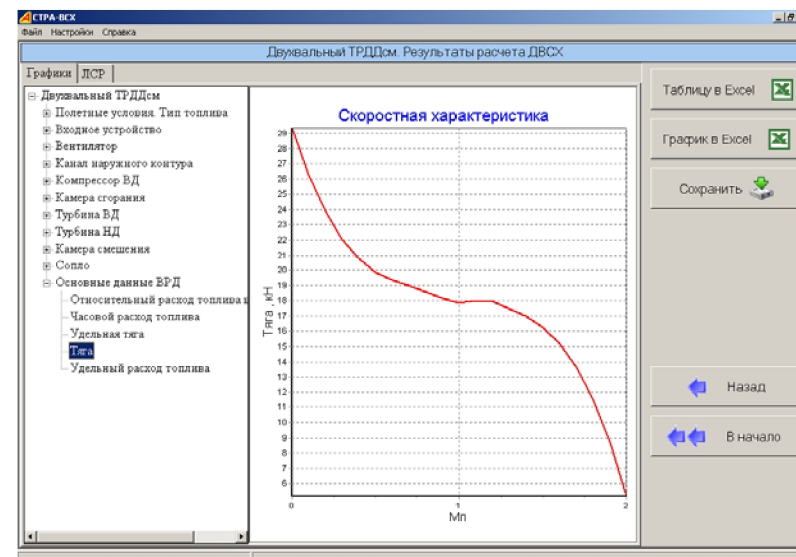


Рис. 27 – График изменения тяги двигателя по скоростной характеристике

На вкладке «ЛСР» (рис. 28) в левой части окна перечислены все компрессоры и контуры вентилятора, а в правой – выводятся соответствующие характеристики с нанесенными на них линиями совместной работы узлов (рабочих режимов).

Кнопки страницы результатов расчета характеристики (рис. 28):

- «Таблицу в Excel» - вывод таблицы изменения всех параметров ГТД по характеристике в Excel;
- «График в Excel» - вывод текущего графика и таблицы значений параметра в Excel;
- «Сохранить» - сохранение текущего графика или характеристики в виде графического изображения в файл;
- «Назад» - возврат к странице параметров расчета характеристик;

- «В начало» - возврат к исходной странице.

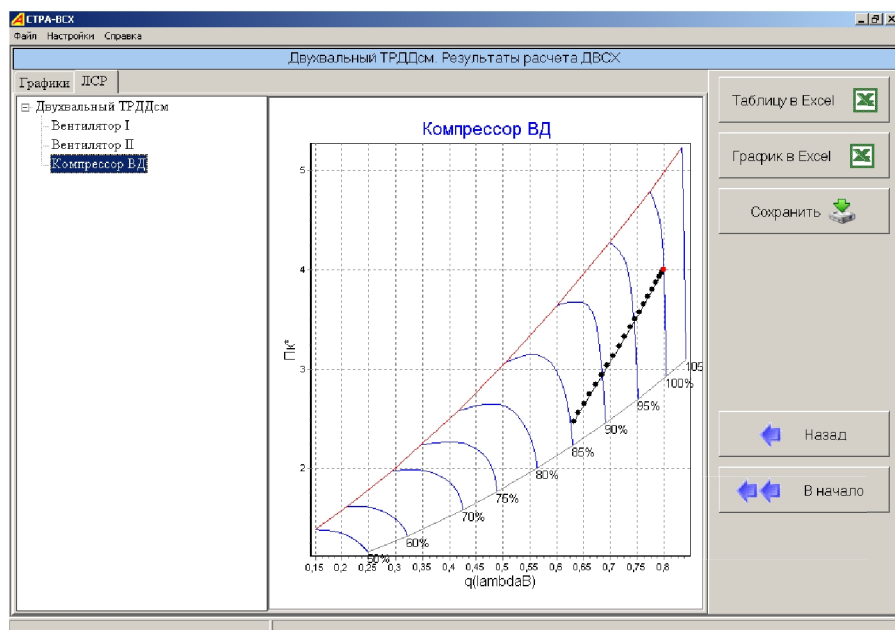


Рис. 28 – Линия совместной работы на характеристике компрессора ВД

Результаты расчета можно передать в электронную таблицу MS Excel, отредактировать и внедрить в пояснительную записку или отчет.

Список использованных источников

1. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник: в 3 кн. / В.В. Кулагин. – М.: Машиностроение, 2003. Кн. 1: Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ. Кн. 2: Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики.
2. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: электрон. учебник / В.В. Кулагин. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. Кн. 1: Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазо-динамический анализ.
3. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник: в 3 кн. / В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. Кн. 3: Основные проблемы: начальный уровень проектирования, газодинамическая доводка, специальные характеристики и конверсия авиационных ГТД.
4. Кулагин, В.В. Формирование математической модели двигателя-прототипа и проектный расчет ГТД с использованием автоматизированной системы термогазодинамического расчета и анализа (АСТРА-ПР): электрон. учеб. пособие/ В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, С.К. Бочкарев [и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006.
5. Кулагин, В.В. Формирование математической модели двигателя-прототипа и проектный расчет ГТД с использованием подсистемы АСТРА-ПР в PDM системе SmartTeam: электрон. метод. указания/ В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич [и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007.

Учебное издание

Кулагин Виктор Владимирович

Кузьмичев Венедикт Степанович

Крупенич Илья Николаевич

Ткаченко Андрей Юрьевич

**СОВМЕСТНАЯ РАБОТА УЗЛОВ И РАСЧЕТ
ХАРАКТЕРИСТИК ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРА-ВСХ
В PDM СИСТЕМЕ SMARTTEAM**

Методические указания

Технический редактор А. М. Цыганов

Редакторская обработка Т. К. Кретьнина

Корректорская обработка Т. К. Кретьнина

Доверстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 28.12.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ.л. 2,5.

Тираж 120 экз. Заказ . ИП-54/2007

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34